

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIZA

Voorspelinstrument duurzame vaarweg

Roosteruitbreiding met Beneden Merwede en Nieuwe Merwede

rapport

augustus 2006

WL | delft hydraulics

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIZA

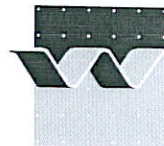
Voorspelinstrument duurzame vaarweg

Roosteruitbreiding met Beneden Merwede en Nieuwe Merwede

Willem Ottevanger & Mohamed Yossef

rapport

augustus 2006



OPDRACHTGEVER:	Rijkswaterstaat RIZA				
TITEL:	Voorspelinstrument duurzame vaarweg; Roosteruitbreiding met Beneden Merwede en Nieuwe Merwede				
SAMENVATTING:	<p>Voor het formuleren van een beheer van de vaarweg tussen Rotterdam en Duisburg dat is afgestemd op toekomstige ontwikkelingen in afvoer en bodemligging, is een instrument nodig dat de vaarwegdimensies in dit traject kan voorspellen. Daarom is reeds gestart met de bouw van een model voor tweedimensionale riviermorfologie met delen van de Nederrijn, Bovenrijn, Pannerdensch Kanaal, Waal, Nederrijn en IJssel (Van Vuren et al, 2006). De benedenstroomse Waalrand van dit model is gedefinieerd bij Werkendam (km 953). Om het beheer van de Merwedens en het beheer van de Waal beter op elkaar af te kunnen stemmen, is de voorspelling van bodemontwikkelingen in de Merwedens echter ook van belang. Daarom heeft Rijkswaterstaat opdracht verleend om ook de roosters te maken van de Beneden Merwede tot km 976 en de Nieuwe Merwede tot km 979.</p> <p>Binnen deze opdracht zijn drie rekenroosters gebouwd voor respectievelijk de Boven Merwede, de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede. De roosters voldoen aan de roostercriteria volgens Mosselman et al (2005) en sluiten aan op het Waalrooster van de lopende opdracht RI-4538 (Van Vuren, 2006). De twee roosters beneden de Merwedensplitsing Kop van de Oude Wiel sluiten echter niet naadloos op elkaar aan. De roosters kennen een geringe overlap, die zo klein mogelijk gehouden is, en communiceren niet onderling. Om toch de fouten ten gevolge van het gebrek aan laterale communicatie zo klein mogelijk te houden, volgt de gemeenschappelijke rand zoveel mogelijk hooggelegen gebieden of dijken. Voor zo'n rand is de laterale uitwisseling ook in werkelijkheid minimaal. Een probleem is alleen dat het Wantij zich over beide roosters uitstrekt. Aanbevolen wordt om bij toekomstige toepassingen het belang van invloeden van het Wantij te beoordelen en eventueel het Wantij met behulp van een bron en een put na te bootsen.</p> <p>Het zuidelijke winterbed van de Nieuwe Merwede is uitgebreid met de Noordwaard, die volgens de PKB Ruimte voor de Rivier in de toekomst gebruikt zal worden om hoogwaters af te voeren. De kwaliteit van het rekenrooster is in dit gebied echter niet optimaal, omdat de lengte-breedteverhouding van roostercellen plaatselijk te groot is. Aanbevolen wordt om dit deel van het rekenrooster met behulp van <i>enclosures</i> weg te knippen zolang de Noordwaard nog niet voor de afvoer van hoogwaters is ingericht. Verder wordt aanbevolen om rekening te houden met de lokale beperkingen van het rooster wanneer in het kader van Ruimte voor de Rivier ook resultaten binnen de voor hoogwaterafvoer ingerichte Noordwaard berekend worden.</p>				
REFERENTIES:	Bestelnummer 4500033105 d.d. 16 maart 2006				
VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1.5	W. Ottevanger	29 juni 2006		E. Mosselman	C.A. Bons
2.0	W. Ottevanger	30 augustus 2006		E. Mosselman	C.A. Bons
PROJECTNUMMER:	Q4186.00				
TREFWOORDEN:	Riviermorfologie, tweedimensionaal model				
AANTAL BLADZIJDEN:					
VERTROUWELIJK:	<input type="checkbox"/> JA		<input checked="" type="checkbox"/> NEE		
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF

Inhoud

1	Inleiding	1—1
	1.1 Kader	1—1
	1.2 Opdracht	1—1
	1.3 Organisatie.....	1—1
2	Aanpak.....	2—1
	2.1 Afbakening van het gebied.....	2—1
	2.2 Criteria.....	2—2
3	Resultaten	3—1
	3.1 Rekenroosters	3—1
	3.2 Orthogonaliteit.....	3—4
	3.3 Gladheid	3—5
	3.4 Lengte-breedteverhouding.....	3—8
4	Conclusies en aanbevelingen	4—1
5	Literatuurverwijzingen	5—1

1 Inleiding

1.1 Kader

Voor het formuleren van een beheer van de vaarweg tussen Rotterdam en Duisburg dat is afgestemd op toekomstige ontwikkelingen in afvoer en bodemligging, is een instrument nodig dat de vaarwegdimensies in dit traject kan voorspellen. Daarom is reeds gestart met de bouw van een model voor tweedimensionale riviermorfologie met delen van de Niederrhein, Bovenrijn, Pannerdensch Kanaal, Waal, Nederrijn en IJssel (Van Vuren et al, 2006). De benedenstroomse Waalrand van dit model is gedefinieerd bij Werkendam (km 953). Om het beheer van de Merwedens en het beheer van de Waal beter op elkaar af te kunnen stemmen, is de voorspelling van bodemontwikkelingen in de Merwedens echter ook van belang. Daarom heeft Rijkswaterstaat op 16 maart 2006 opdracht verleend om, aanvullend op de lopende opdracht, ook de roosters te maken van de Beneden Merwede tot km 976 en de Nieuwe Merwede tot km 979.

1.2 Opdracht

De opdracht bestaat uit het bouwen van rekenroosters van de Beneden Merwede tot km 976 en de Nieuwe Merwede tot km 979, conform de roostercriteria van de lopende opdracht RI-4538 (Van Vuren, 2006). De nieuwe roosters moeten aansluiten op het Waalrooster van de lopende opdracht RI-4538. Daarom moet ook nog een rekenrooster van de Boven Merwede worden gebouwd.

Het bouwen van een morfologisch model voor de nieuwe takken behoort niet tot deze opdracht.

De opdracht is vastgelegd in de opdrachtbon met bestelnummer 4500033105 betreffende "Roosteruitbreiding D2D model met Beneden Merwede en Nieuwe Merwede". Het project is bij WL | Delft Hydraulics bekend onder nummer Q4186.00.

1.3 Organisatie

De opdracht is uitgevoerd door Willem Ottevanger en Mohamed Yossef. Erik Mosselman was de projectleider.

2 Aanpak

2.1 Afbakening van het gebied

Figuur 1.1 geeft een overzicht van het gebied van de Merwedes. De nieuwe roosters lopen vanaf de Waal (km 953) tot aan de splitsing waar de Boven Merwede overgaat in de Oude Maas (km 976) en de uitstroming van de Nieuwe Maas in het Hollandsch Diep (km 979).

De roosters beslaan zowel het zomer- als het winterbed van de Merwedes. Tot het winterbed van de Nieuwe Merwede wordt ook de Noordwaard gerekend, die begrensd wordt door de Nieuwe Merwede, het Steurgat en het Gat van de Noorderklip.



Figuur 1.1. Gebied van de Merwedes (bron: Google Earth).

2.2 Criteria

De rekenroosters zijn ontworpen op basis van de eisen omschreven door Mosselman et al (2005):

- Een onnauwkeurigheid van 10 m in de bepaling van de begrenzing van de vaarbaan vereist een minimale roosterresolutie van 20 m in dwarsrichting.
- Omdat de langsafmetingen niet teveel mogen verschillen van de dwarsafmetingen, moet voor de rekencellen een maximale lengte-breedteverhouding van 4 worden nagestreefd.
- Voor een goede reproductie van het dwarsprofiel moet het zomerbed met minimaal 6 roosterlijnen worden geschematiseerd.
- Voor een goede weergave van een na-ijlende aanpassing moeten de roostercellen niet groter zijn dan 20% van de karakteristieke lengteschaal van de aanpassing. Belangrijke lengteschalen voor 2D morfologie zijn λ_s en λ_w uit de theorie van Struiksmā et al (1985).

De roosterlijnen volgen de normaallijnen van het zomerbed. Dit is van belang voor morfologische berekeningen, omdat een schematisatie van de normaallijnen als trapjeslijnen onnauwkeurigheden veroorzaakt en verstoringen in het morfologische gedrag. Gevoegd bij de eis dat het winterbed wordt meegenomen in het modeldomein, leidt de eis van roosterlijnen langs normaallijnen ertoe dat het modeldomein bij splitsingen in drieën gedeeld moet worden. Dan zijn technieken van domeindecompositie noodzakelijk. Bij de Merwedekop of Kop van de Oude Wiel is dat op dezelfde wijze toegepast als bij de Pannerdensche Kop en de IJsselkop (Van Vuren et al, 2006). Zo ontstaan de volgende drie deeldomeinen:

- Boven Merwede van km 953 tot de splitsing Kop van de Oude Wiel (km 961);
- Beneden Merwede van km 961 tot km 976;
- Nieuwe Merwede van km 961 tot km 979.

Er is voor gekozen om geen voorzieningen te treffen voor laterale uitwisseling tussen de roosters van de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede. Aan deze keuze liggen de volgende overwegingen ten grondslag:

- Het model is bedoeld voor morfologische berekeningen in het zomerbed, niet voor morfologische berekeningen in het winterbed;
- Laterale communicatie zou vereisen dat de roosterpunten op de gemeenschappelijke rand precies samenvallen. Combinatie van deze eis met de eis dat de roosterlijnen de normaallijnen van het zomerbed moeten volgen, maakt de constructie van het rooster vrijwel onhaalbaar;
- Laterale communicatie zou naar verwachting leiden tot een aanmerkelijke toename in rekentijd.

Het gevolg van niet precies samenvallende roosterpunten is dat de twee benedenstroomse roosters elkaar plaatselijk kunnen overlappen. De overlap is echter zo klein mogelijk gehouden.

Om toch de fouten ten gevolge van het gebrek aan laterale communicatie zo klein mogelijk te houden, is de gemeenschappelijke rand van de twee benedenstroomse roosters zo gekozen dat deze zoveel mogelijk hooggelegen gebieden of dijken volgt. Voor een dergelijke rand is de laterale uitwisseling ook in werkelijkheid minimaal. Een probleem is alleen dat het Wantij zich over beide roosters uitstrekt.

Verder is rekening gehouden met eisen ten aanzien van gladheid en orthogonaliteit. De gladheidseis is dat de verschillen tussen opeenvolgende roostercelafmetingen langs een roosterlijn in het zomerbed niet groter mogen zijn dan 10%. Voor het winterbed is de eis minder streng en mogen de verschillen oplopen tot maximaal 25%. De orthogonaliteitseis is dat de roosterhoeken niet meer dan 5° mogen afwijken van rechte hoeken. Dit betekent dat de orthogonaliteitsparameter, die de mate van niet-orthogonaliteit uitdrukt, kleiner moet zijn dan $\sin(5^\circ) = 0,087$. Thompson et al (1985), Wijbenga (1985) en Mosselman (1991) beschrijven de achtergronden van de criteria voor orthogonaliteit en gladheid.

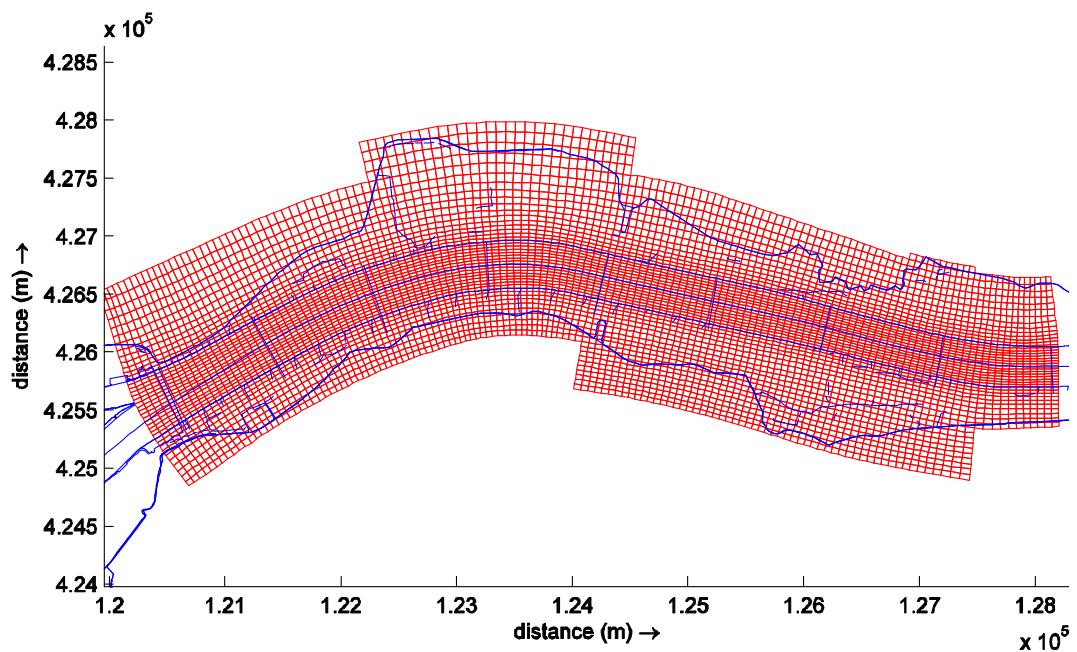
De roosters zijn zo geconstrueerd dat ze kunnen worden gebruikt in combinatie met de roosters uit de lopende opdracht RI-4538 (Van Vuren et al, 2006).

De invloeden van getij, zout en slib leiden niet tot andere roostercriteria dan bij de bovenrivieren gehanteerd worden. De resolutie van het rooster wordt vooral bepaald door de schalen van de geometrische details en de verschijnselen die men wil kunnen onderscheiden, voor zover die verschijnselen binnen de onderliggende modelconcepten passen. Die schalen zijn voor de Merwedens niet anders dan voor de bovenrivieren. Ook de eisen van gladheid, orthogonaliteit en lengte-breedteverhouding zijn in principe gelijk. Verder geldt dat de hydrodynamica van getijbeweging niet wezenlijk verschilt van die van rivierafvoer, omdat het in beide gevallen gaat om lange-golfverschijnselen die zich goed met ondiep-watervergelijkingen laten beschrijven.

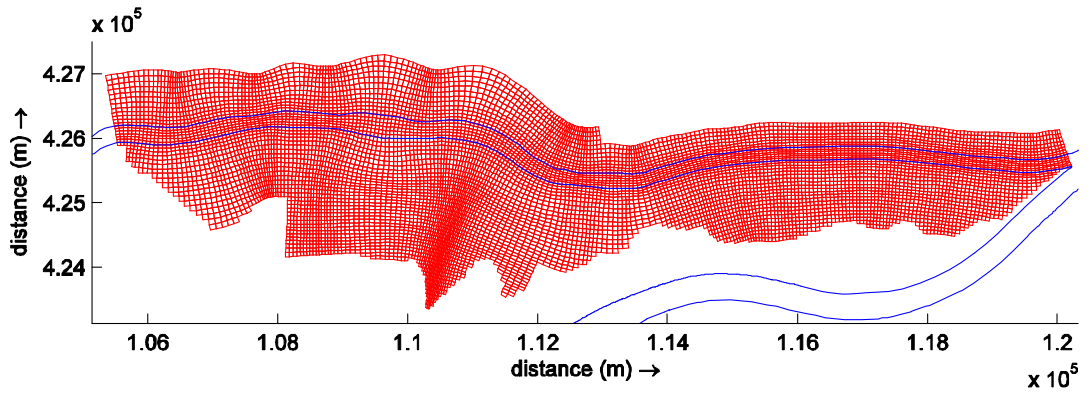
3 Resultaten

3.1 Rekenroosters

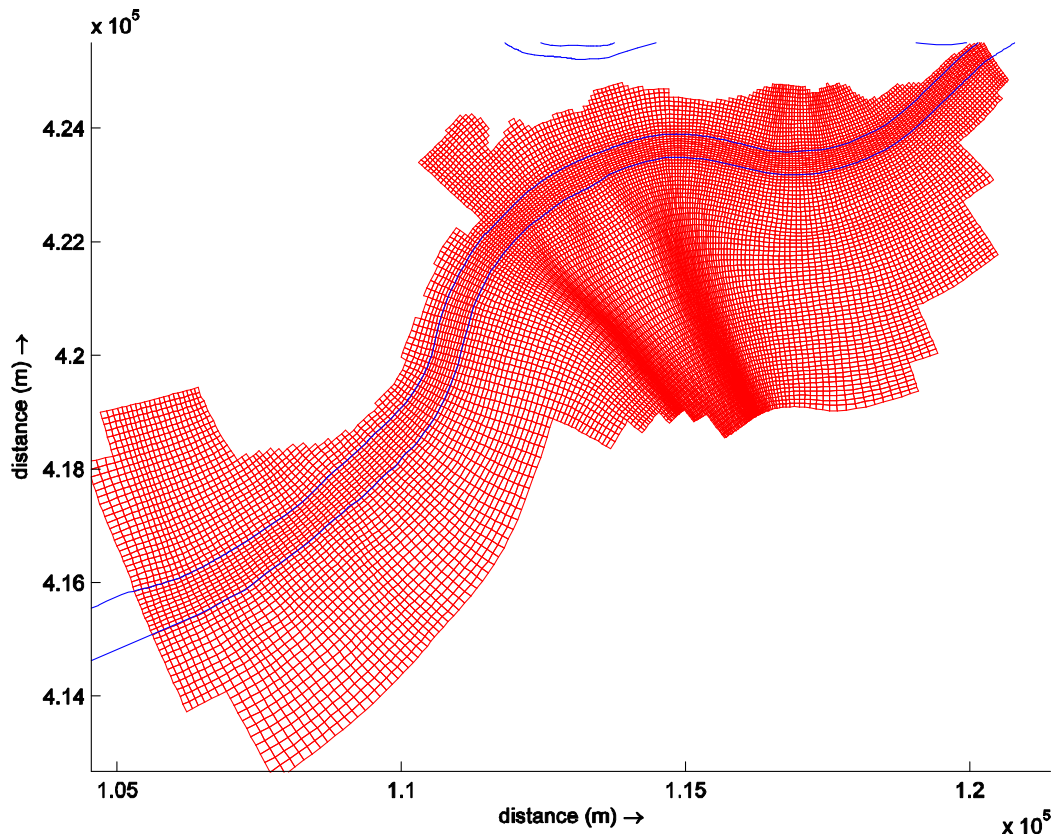
Figuren 3.1, 3.2 en 3.3 tonen de rekenroosters voor de drie deeldomeinen. De bijbehorende karakteristieken zijn weergegeven in Tabel 3.1. Figuur 3.4 toont de onderlinge aansluiting van de drie roosters. De lengtes van de rekencellen bedragen op de rivierassen ongeveer 60 m. Vanaf km 971 zijn de cellen in de Nieuwe Merwede in lengterichting uitgerekt tot 120 m op de rivieras.



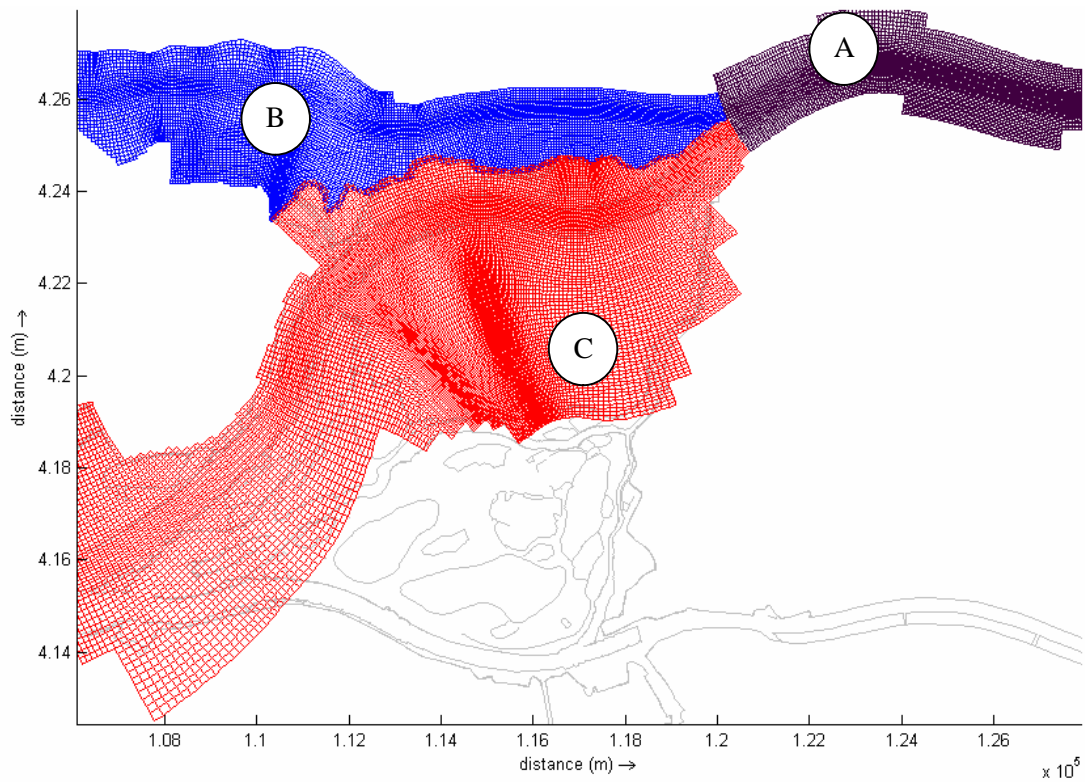
Figuur 3.1. Rekenrooster voor Boven Merwede.



Figuur 3.2. Rekenrooster voor Beneden Merwede.



Figuur 3.3. Rekenrooster voor Nieuwe Merwede.



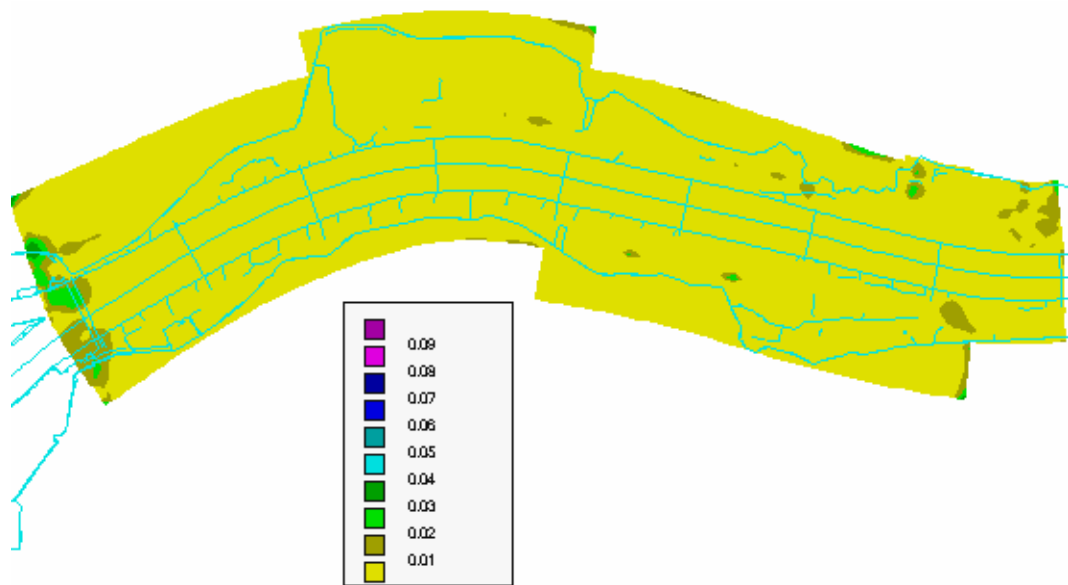
Figuur 3.4. Onderlinge aansluiting van de rekenroosters voor de deeldomeinen Boven Merwede (A), Beneden Merwede (B) en Nieuwe Merwede (C).

Tabel 3.1. Karakteristieken van de verschillende rekenroosters.

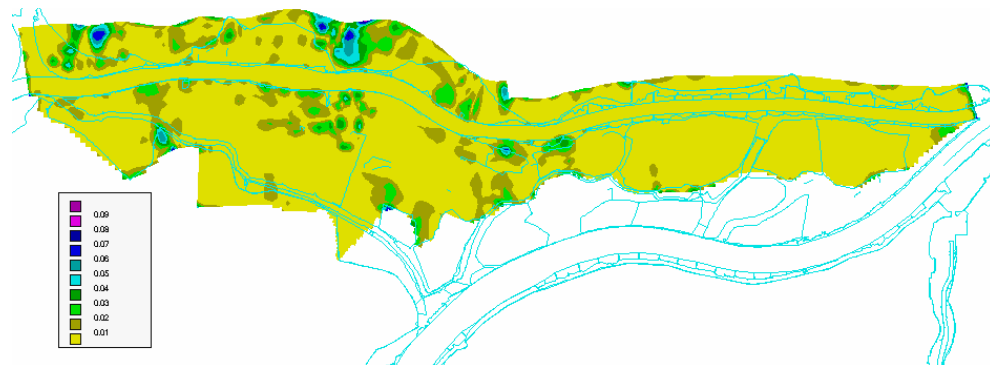
Deeldomein	Totaal aantal cellen	Zomerbed			Winterbed			
		Aantal cellen	Breedte (m)	Lengte (m)	Aantal cellen links	Aantal cellen rechts	Breedte (m)	Lengte (m)
<u>Boven Merwede</u> km 953-961	54 × 139	16	~30	~ 60	20	13	35-90	40-95
<u>Beneden Merwede</u> km 961-976	122 × 1401	6	35-60	~ 60	51	12	40-95	20-140
<u>Nieuwe Merwede</u> km 961-971 km 971-979	94 × 182	10	35-45	~ 60	57	24	40-130	6-170
			45-75	~ 120	46	29	45-190	30-225

3.2 Orthogonaliteit

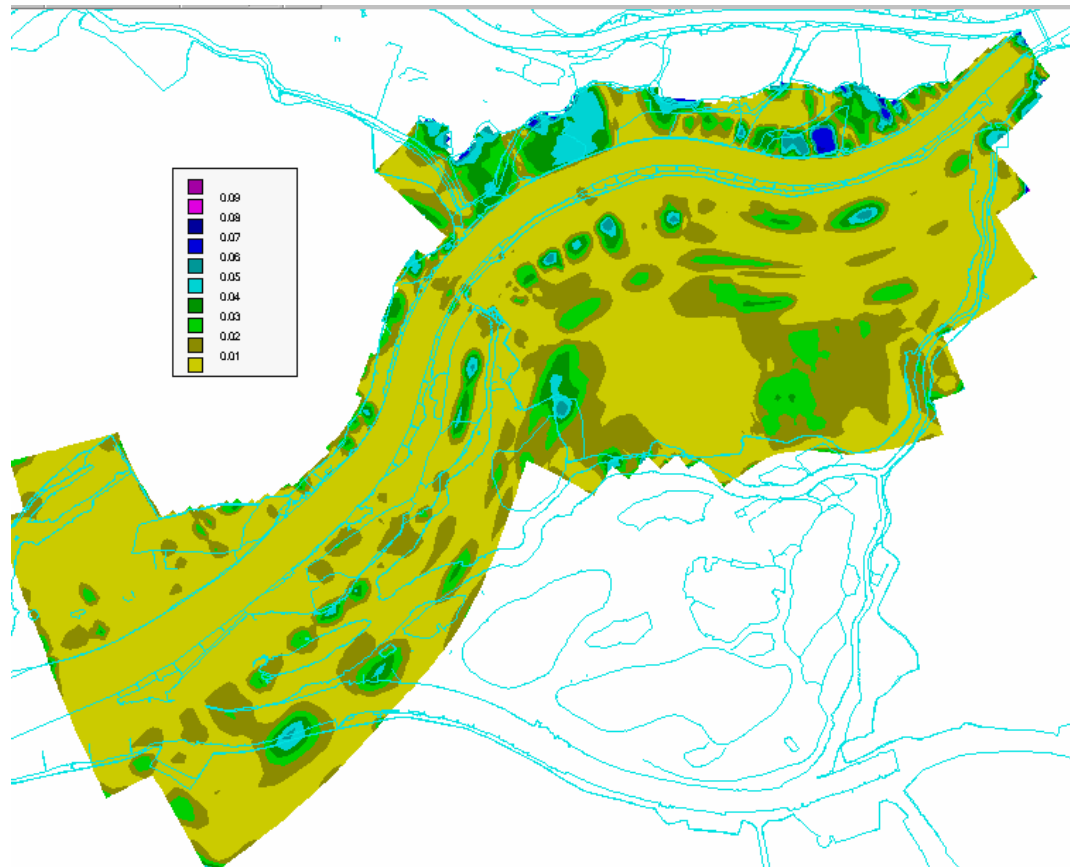
De ruimtelijke verdelingen van de mate van niet-orthogonaliteit zijn weergegeven in Figuren 3.5 tot en met 3.7. In het zomerbed is de niet-orthogonaliteit vrijwel overal kleiner dan 0,02. Alleen op de splitsing zijn de waarden iets groter. Een niet-orthogonaliteit van 0,02 komt overeen met een afwijking van 1° ten opzichte van een rechte hoek.



Figuur 3.5. Afwijkingen van orthogonaliteit in het rekenrooster voor de Boven Merwede.



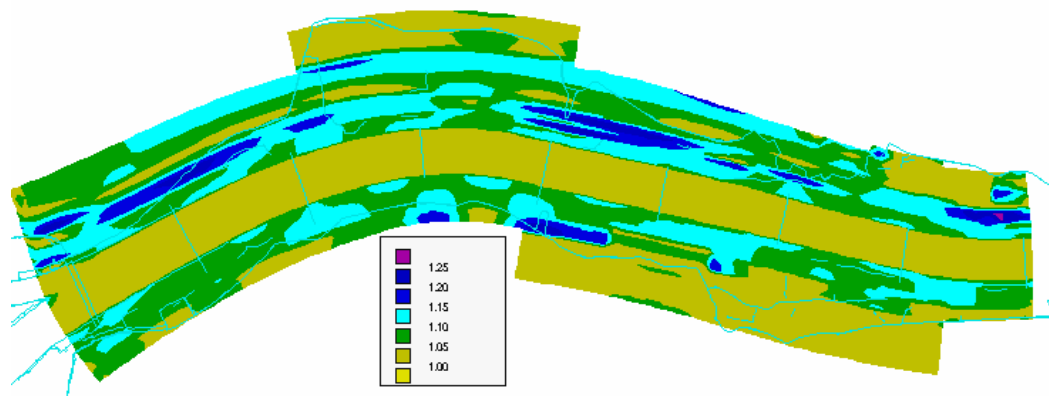
Figuur 3.6. Afwijkingen van orthogonaliteit in het rekenrooster voor de Beneden Merwede.



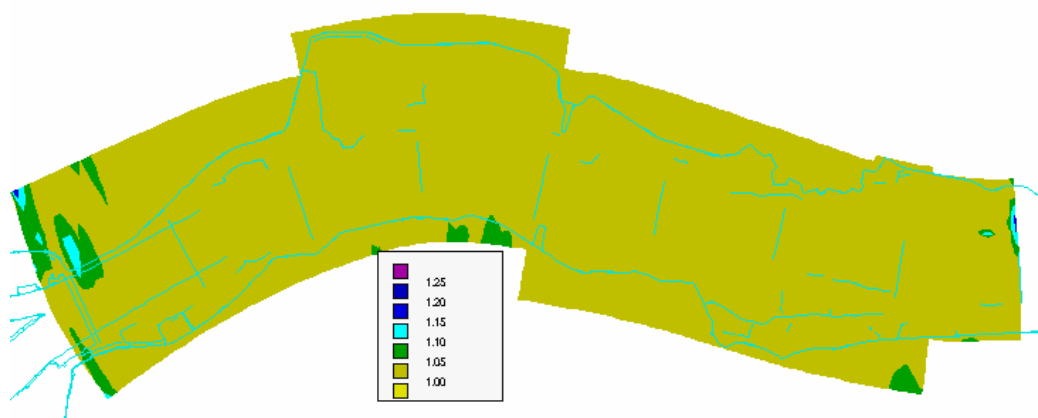
Figuur 3.7. Afwijkingen van orthogonaliteit in het rekenrooster voor de Nieuwe Merwede.

3.3 Gladheid

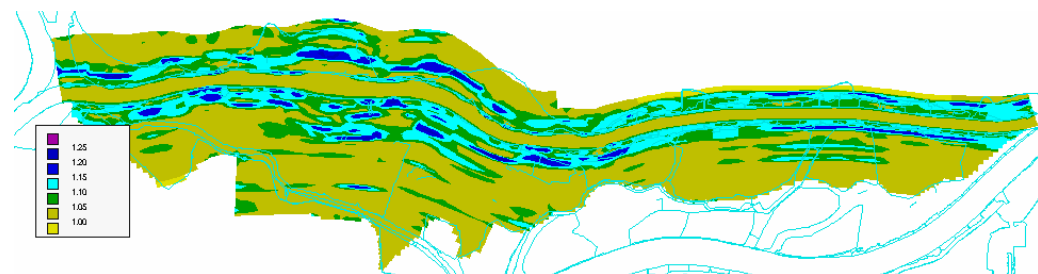
De gladheid van de rekenroosters is voor beide coördinaatrichtingen in acht genomen en gevisualiseerd. De resultaten zijn weergegeven in Figuren 3.8 tot en met 3.13. De m-richting is de richting loodrecht op de rivieras, de n-richting de richting evenwijdig aan de rivieras. Alle drie de roosters voldoen aan de eis dat de gladheidsparameter niet groter mag zijn dan 1,10 in het zomerbed en 1,25 in het winterbed.



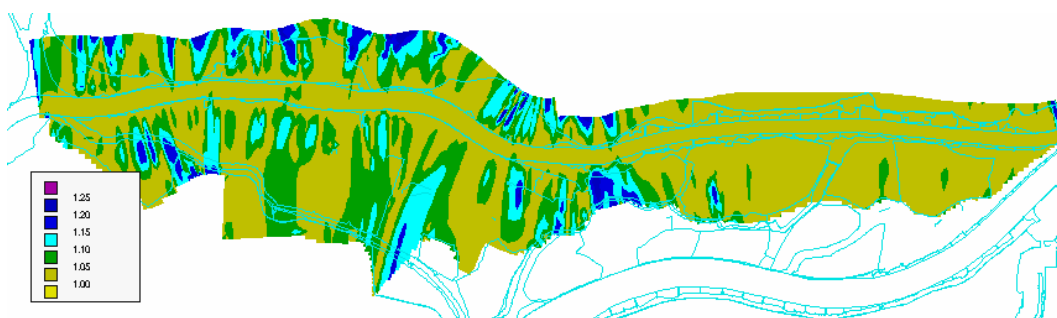
Figuur 3.8. Afwijkingen van gladheid in m-richting van het rekenrooster voor de Boven Merwede.



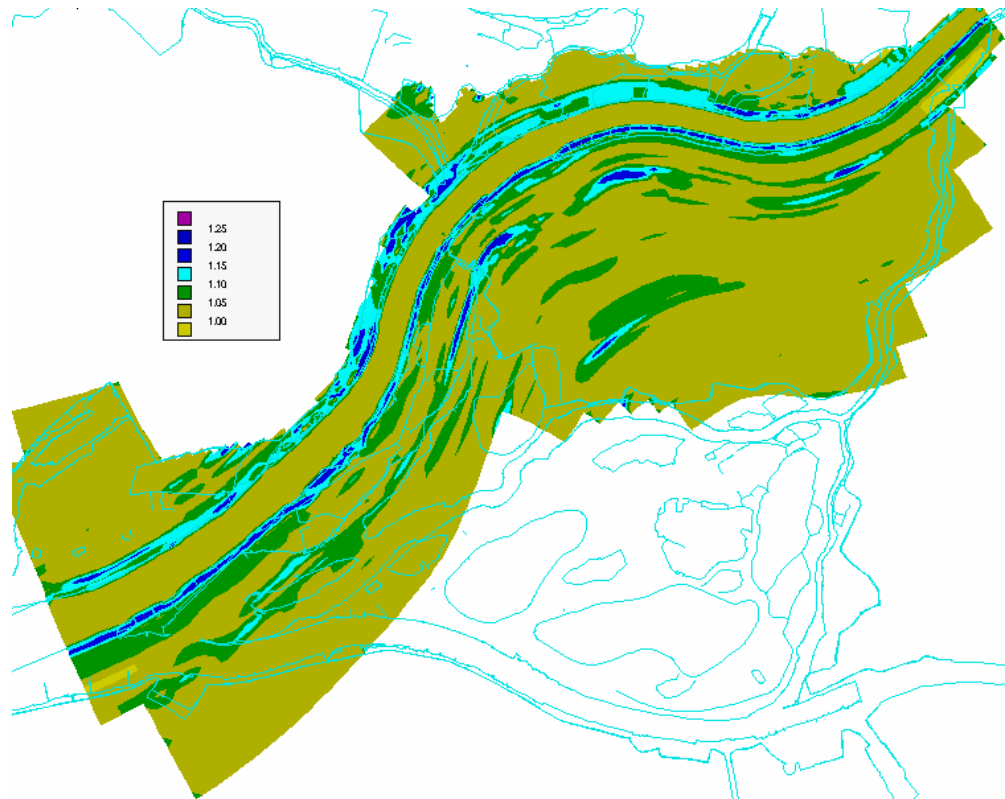
Figuur 3.9. Afwijkingen van gladheid in n-richting van het rekenrooster voor de Boven Merwede.



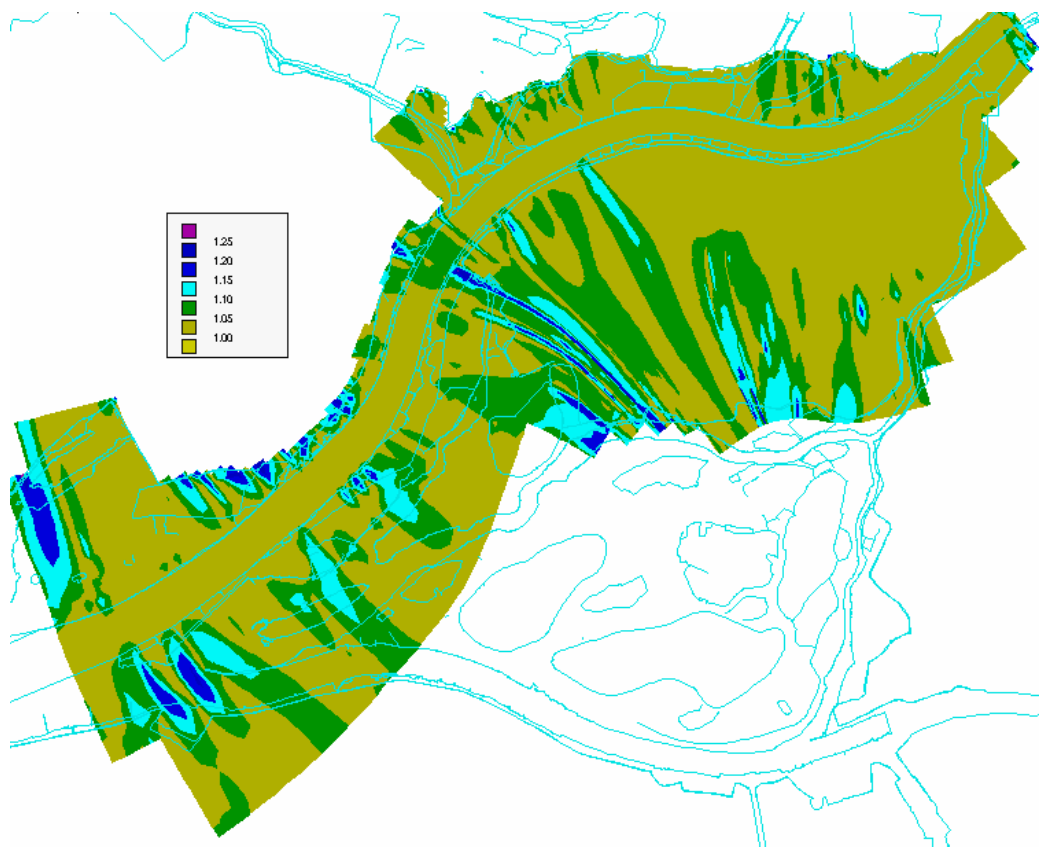
Figuur 3.10. Afwijkingen van gladheid in m-richting van het rekenrooster voor de Beneden Merwede.



Figuur 3.11. Afwijkingen van gladheid in n-richting van het rekenrooster voor de Beneden Merwede.



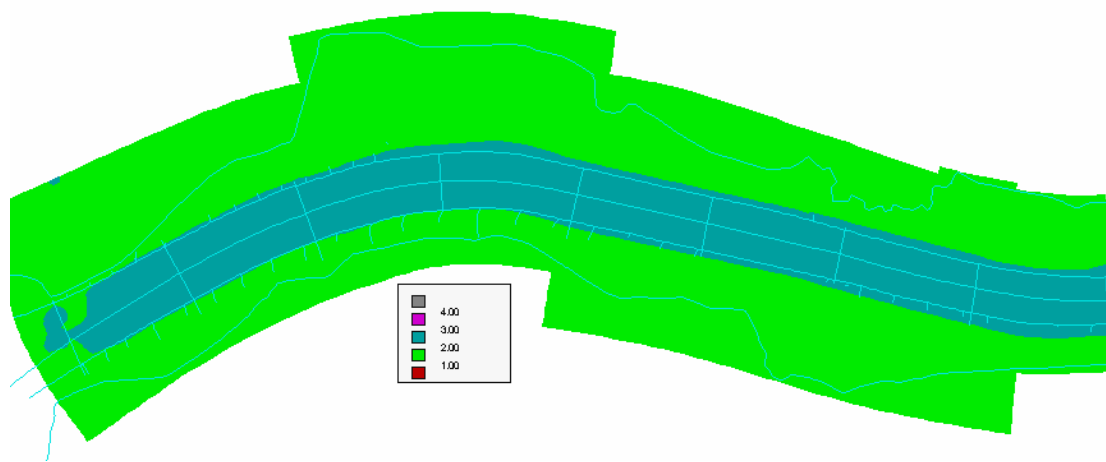
Figuur 3.12. Afwijkingen van gladheid in m-richting van het rekenrooster voor de Nieuwe Merwede.



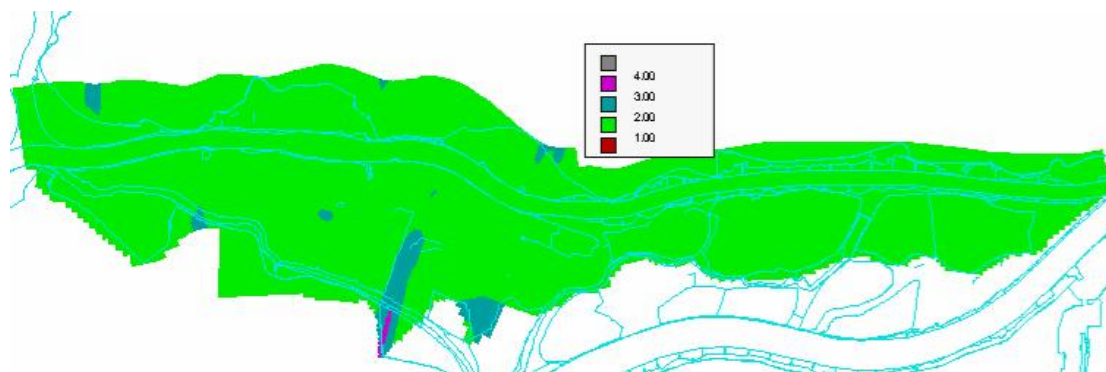
Figuur 3.13. Afwijkingen van gladheid in n-richting van het rekenrooster voor de Nieuwe Merwede.

3.4 Lengte-breedteverhouding

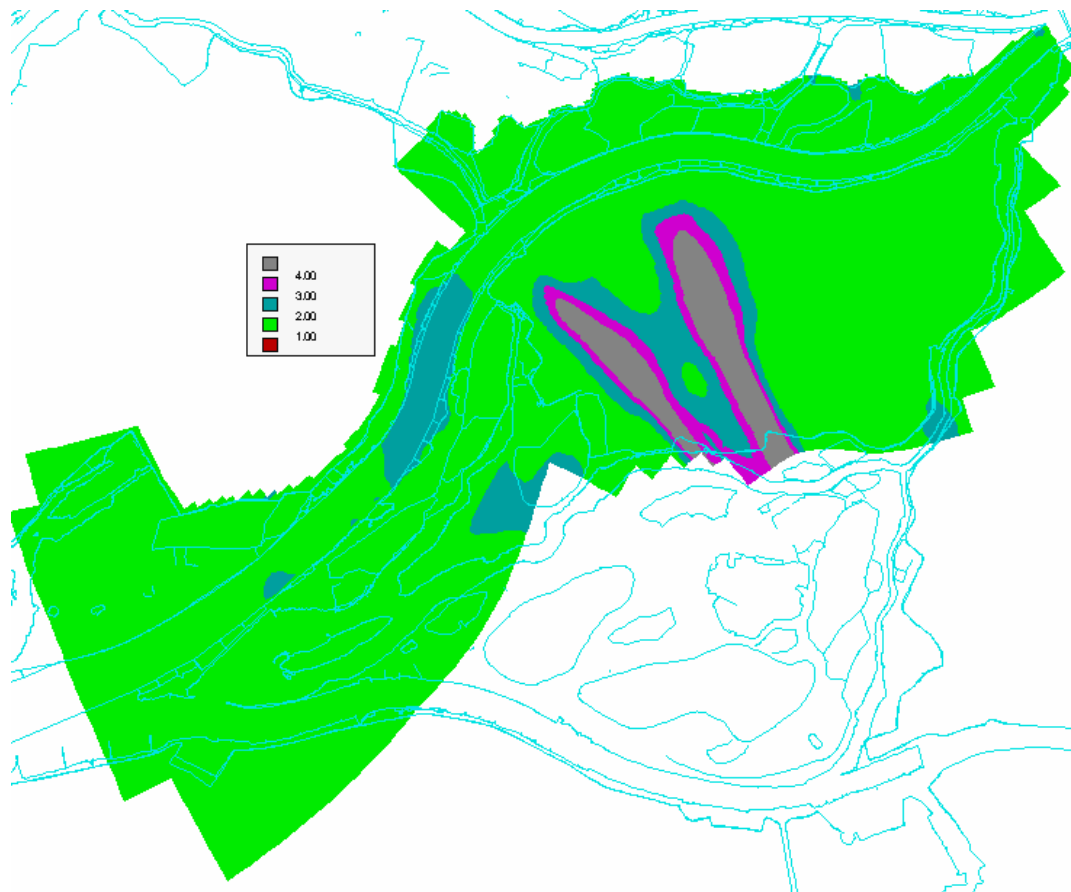
De ruimtelijke verdelingen van de lengte-breedteverhouding van roostercellen zijn weergegeven in Figuren 3.14 tot en met 3.16. De cellen voldoen in de meeste gevallen aan de eis dat de verhouding niet groter dan 4 mag zijn. Alleen in de Noordwaard loopt de lengte-breedteverhouding lokaal op tot 10. Dit heeft geen ernstige consequenties voor toepassingen in het kader van Duurzame Vaardiepte Rijndelta, maar aanbevolen wordt om rekening te houden met de lokale beperkingen van het rooster wanneer in het kader van Ruimte voor de Rivier ook resultaten binnen de voor hoogwaterafvoer ingerichte Noordwaard berekend worden.



Figuur 3.14. Lengte-breedteverhoudingen van roostercellen voor de Boven Merwede.



Figuur 3.15. Lengte-breedteverhoudingen van roostercellen voor de Beneden Merwede.



Figuur 3.16. Lengte-breedteverhoudingen van roostercellen voor de Nieuwe Merwede.

4 Conclusies en aanbevelingen

Er zijn drie rekenroosters gebouwd voor respectievelijk de Boven Merwede, de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede. De roosters voldoen aan de roostercriteria volgens Mosselman et al (2005) en sluiten aan op het Waalrooster van de lopende opdracht RI-4538 (Van Vuren, 2006). De twee roosters beneden de Merwedespilting Kop van de Oude Wiel sluiten echter niet naadloos op elkaar aan. De roosters kennen een geringe overlap, die zo klein mogelijk gehouden is, en communiceren niet onderling. Om toch de fouten ten gevolge van het gebrek aan laterale communicatie zo klein mogelijk te houden, volgt de gemeenschappelijke rand zoveel mogelijk hooggelegen gebieden of dijken. Voor een dergelijke rand is de laterale uitwisseling ook in werkelijkheid minimaal. Een probleem is alleen dat het Wantij zich over beide roosters uitstrekt. Aanbevolen wordt om bij toekomstige toepassingen het belang van invloeden van het Wantij te beoordelen en eventueel het Wantij met behulp van een bron en een put na te bootsen.

Het zuidelijke winterbed van de Nieuwe Merwede is uitgebreid met de Noordwaard, die volgens de PKB Ruimte voor de Rivier in de toekomst gebruikt zal worden om hoogwaters af te voeren. De kwaliteit van het rekenrooster is in dit gebied echter niet optimaal, omdat de lengte-breedteverhouding van roostercellen plaatselijk te groot is. Aanbevolen wordt om dit deel van het rekenrooster met behulp van *enclosures* weg te knippen zolang de Noordwaard nog niet voor de afvoer van hoogwaters is ingericht. Verder wordt aanbevolen om rekening te houden met de lokale beperkingen van het rooster wanneer in het kader van Ruimte voor de Rivier ook resultaten binnen de voor hoogwaterafvoer ingerichte Noordwaard berekend worden.

5 Literatuurverwijzingen

- Mosselman, E. (1991), Modelling of river morphology with non-orthogonal horizontal curvilinear coordinates. Communications on Hydr. and Geotech. Engrg., No.91-1, Delft Univ. of Technol., ISSN 0169-6548.
- Mosselman, E., C.J. Sloff & H.R.A. Jagers (2005), Voorspelinstrument duurzame vaarweg; Voorbereiding. Rapport Q3963.00, WL | Delft Hydraulics.
- Struiksmā, N., K.W. Olesen, C. Flokstra & H.J. de Vriend (1985), Bed deformation in curved alluvial channels. Journal of Hydraulic Research, Vol.23, No.1, pp.57-79.
- Thompson, J.F., Z.U.A. Warsi & C.W. Mastin (1985), Numerical grid generation. North Holland, Elsevier Science Publishing Co., New York.
- Van Vuren, S., E. Mosselman, K. Sloff & B. Vermeulen (2006), Voorspelinstrument duurzame vaarweg; Initiële modelbouw en demonstratieberekeningen. Rapport Q4082.00, WL | Delft Hydraulics.
- Wijbenga, J.H.A. (1985), Schatting van restfouten in de termen van de bewegingsvergelijkingen in WAQUA kromlijinig. Waterloopkundig Laboratorium Delft.